

Е. И. Устинова^{*}, А. М. Михайленко^{**}, Д. Л. Шварц^{}***

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

^{*}*ekatherinaustanova@gmail.com*, ^{**}*am_plus@mail.ru*, ^{***}*sdl190977@mail.ru*

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук *А. М. Михайленко*

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ С ЦЕЛЮ УЛУЧШЕНИЯ СТРУКТУРЫ ГОТОВОГО ШВЕЛЛЕРА

Улучшение структуры готового изделия выбрано в качестве цели оптимизации калибровки прокатных валков. С использованием теории систем и теории графов сформированы пространства швеллерных калибров и швеллерных калибровок, а также составлены матрицы смежности швеллерных калибров.

Ключевые слова: сортовая прокатка, калибровка прокатных валков, калибр, системный анализ, критерии оптимальности, оптимизация калибровки валков, швеллерный калибр, пространство калибров.

E. I. Ustinova, A. M. Mikhaylenko, D. L. Schwartz

SELECTING THE OPTIMAL CALIBRATION OF THE ROLLERS FOR THE IMPROVEMENT OF THE STRUCTURE OF THE READY SHEVLER

The improvement in the structure of the finished product is chosen as the goal of optimizing the calibration of the rolling rolls. Using the theory of systems and the theory of graphs, spaces of channel calibers and channel calibrations are formed, and matrices of adjacent channel calibers are also made up.

Keywords: profiled rolling, calibration of rolling rolls, caliber, system analysis, optimality criteria, optimization of roll calibration, channel caliber, space of calibers.

Центральным звеном технологии сортовой прокатки является калибровка валков. От того как спроектирована калибровка в значительной степени зависят характеристики технологического процесса и свойства готового проката [1].

При прокатке фасонных профилей формирование наилучшей структуры металла должно быть включено в общий процесс формоизменения, обеспечивающий получение требуемой формы готового профиля. Для получения одной и той же формы готового профиля возможно применять как промежуточные калибры различной формы, так и использовать различные варианты распределения обжатий в этих калибрах. Наличие таких возможностей позволяет произвести постановку

и решение оптимизационной задачи для калибровки валков, нацеленной на получение наилучшей структуры у готовых швеллеров [2].

Для создания оптимальной модели калибровки, использована универсальная «Концепция оптимальной калибровки», разработанная на кафедре обработки металлов давлением Уральского федерального университета (УрФУ) А. М. Михайленко и Д. Л. Шварцем [3, 4]. В рамках принятой концепции, выбрана следующая последовательность проектирования оптимальной калибровки валков (рис.).

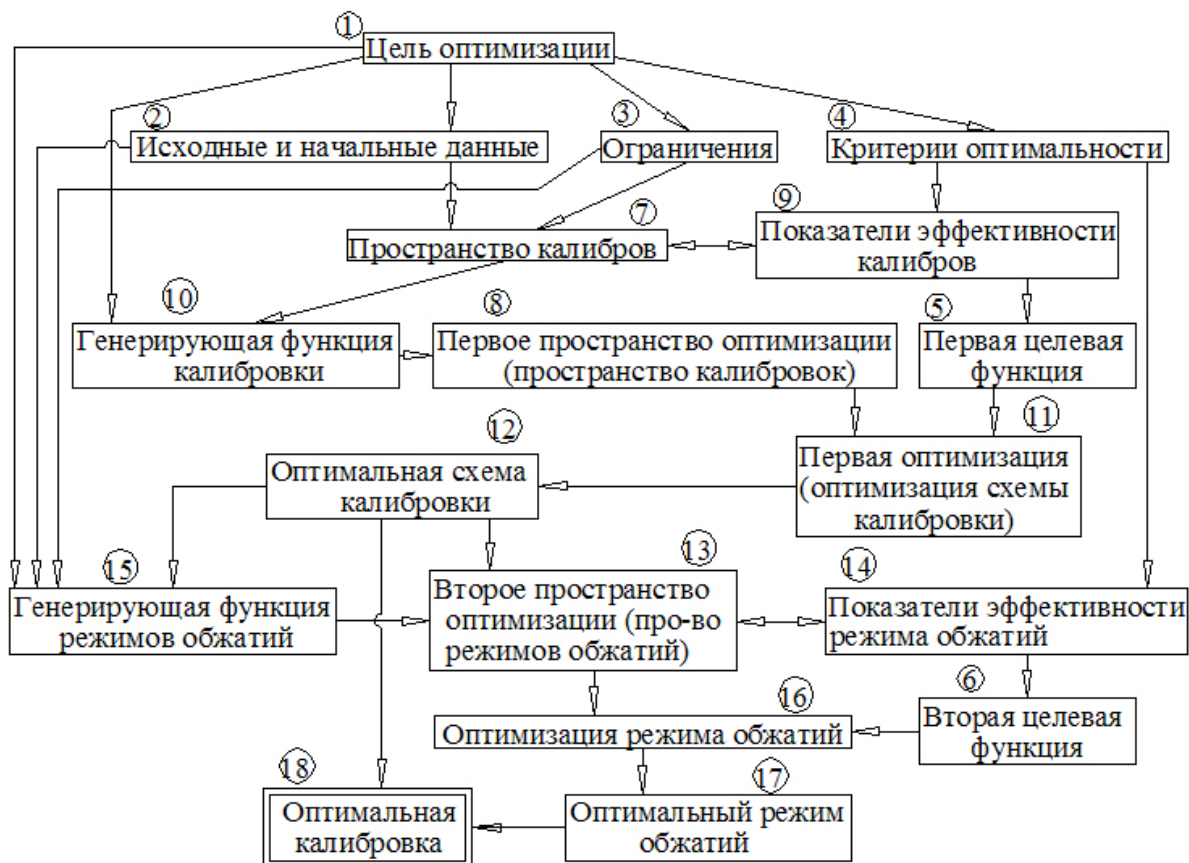


Рис. Блок-схема оптимизации

Начальным этапом формирования оптимальной калибровки, является формирование пространства швеллерных калибров [5]. На основе анализа известных калибровок валков для прокатки швеллеров выбраны главные признаки швеллерных калибров [1]. Данные признаки были использованы в качестве признаков калибров, устанавливающих координаты пространства швеллерных калибров. Так же установлены уровни варьирования каждого из признаков швеллерных калибров (табл. 1).

Таблица 1

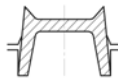
Признаки швеллерных калибров и уровни их варьирования

Признак калибра	Обозначение признака	Уровень варьирования признака	Обозначение уровня варьирования
Вид стенки	С	Прямая	С1
		Вырезная	С2
		Изогнутая	С3
		Волнистая	С4
Вид действительных фланцев	Д	Прямые с малым уклоном	Д1
		Прямые с увеличенным уклоном	Д2
		Изогнутые	Д3
Вид ложных фланцев	Л	Трапециевидные	Л1
		Треугольные	Л2
		Без ложных фланцев	Л3
Тип закрытия калибра и количество валков образующих калибр	Р	Открытый	Р1
		Полузакрытый	Р2
		Закрытый сверху	Р3
		Закрытый	Р4
		4-х валковый	Р5

Все возможные варианты швеллерных калибров (156 геометрически возможных вариантов) представлены в виде матрицы швеллерных калибров. В табл. 2 приведен фрагмент данной матрицы.

Таблица 2

Фрагмент матрицы швеллерных калибров

	Уровень характеристики калибра				Код калибра	Пример калибра
№	С	Д	Л	Р		
1	Прямая	Прямые с малым уклоном	Треугольные	Открытый	1111	
49	Вырезная	Прямые с увеличенным уклоном	Трапециевидные	Открытый	2221	
92	Изогнутая	Прямые с малым уклоном	Треугольные	Полузакрытый	3112	
140	Волнистая	Прямые с малым уклоном	Треугольные	4-х валковый	4115	

На следующем этапе произведено разбиение пространства швеллерных калибров на отдельные подграфы [6], каждый из которых включает в свой состав калибры с определенным функциональным назначением (табл. 3).

Таблица 3











Подграфы швеллерных калибров

Номер подграфа	Тип калибров составляющих подграф	Назначение калибров и подграфа в целом
G1	Разрезные	Деление поперечного сечения на элементы, образующие черновой профиль
G2	Контрольные	Контроль формы и размеров профиля
G3	Формообразующие	Формирование геометрии и размеров предчистового профиля
G4	Чистовые	Доводка геометрии и размеров сечения до чистового профиля






Для каждого подграфа составлена матрица смежности. Текущие индексы этой матрицы (i по вертикали и j по горизонтали) принимают значения кодов калибров, входящих в данный подграф калибров. В произвольной паре калибров индекс i соответствует предыдущему калибру, а индекс j – последующему. Величина элемента матрицы S_{ij} , стоящая на пересечении i -й строки и j -го столбца указывает на возможность использования j -го калибра вслед за i -м калибром. Любой элемент матрицы S_{ij} может принимать одно из значений 0 или 1. Матрица смежности калибров S_{ij} является не симметричной матрицей, т. е. не для всех элементов выполняется условие $S_{ij} = S_{ji}$. В табл. 4 приведен фрагмент матрицы смежности подграфа G1.

Таблица 4

Фрагмент матрицы смежности калибров S_{ij}
для подграфа G1 «Разрезные калибры»

Код калибра	j	2111	2112	2113	2114	2115	2121	2122	2123	2124
i	Пример калибра									
2114		1	1	1	1	0	0	0	0	0

Продолжение табл. 4

2115		0	0	0	0	1	0	0	0	0
2122		0	0	0	0	0	1	1	1	1
2124		0	0	0	0	0	1	1	1	1
2125		0	0	0	0	1	0	0	0	0
2131		1	1	1	1	0	1	1	1	1

Для проведения оптимизационных процедур необходимо сформировать «пространство схем швеллерных калибровок». Для формирования такого пространства необходимо генерировать отдельные виртуальные схемы калибровок и последовательно наполнять ими это пространство. Для этого необходим генератор швеллерных калибровок. В рамках универсальной «Концепции оптимальной калибровки» создан укрупненный «Алгоритм генерации отдельной виртуальной схемы калибровки». На его основе можно сформулировать «Алгоритм генерации отдельной виртуальной схемы калибровки швеллера».

После формирования пространства швеллерных калибровок, появляется возможность сформулировать критерий оптимальности, удовлетворяющий поставленной цели, а именно получения наилучшей структуры готового изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов В. К. Калибровка прокатки валков / В. К. Смирнов, В. А. Шилов, Ю. В. Инатович. Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е переработ. и доп. Москва : Теплотехник, 2010. 492 с.
2. Гуляев А. П. Металловедение / А. П. Гуляев. Издание 4-ое. Москва : Металлургия, 1966. 482 с.
3. Михайленко А. М. Системный подход к оптимизации калибровки сортопрокатных валков / А. М. Михайленко, Д. Л. Шварц // Производство проката, 2016. № 17, С. 29.
4. Михайленко А. М. Классификация калибров для прокатки рельсов / А. М. Михайленко, Д. Л. Шварц // Производство проката, 2017. № 4, С. 19.
5. Михайленко А. М. Оптимизация калибровок валков для прокатки швеллеров. Оптимизационная модель и пространство калибров / А. М. Михайленко, Д. Л. Шварц, Е. И. Устинова // Труды XI Конгресса прокатчиков. Т. I. 2017. С. 283–295.
6. Домнин Л. Н. Элементы теории графов / Л. Н. Домнин. Учебное пособие для вузов. Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2007. 144 с.